



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 166 222⁽¹³⁾ C2
(51) МПК⁷ H 01 L 33/00, 31/0224

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

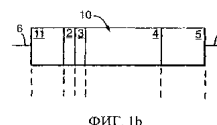
(21), (22) Заявка: 98112013/28, 27.11.1996
(24) Дата начала действия патента: 27.11.1996
(30) Приоритет: 29.11.1995 GB 9524414.1
(43) Дата публикации заявки: 20.04.2000
(46) Дата публикации: 27.04.2001
(56) Ссылки: US 5338944 A, 16.08.1994. Ashley T. "Electronic and optoelectronic devices in narrow Ga P semiconductors", Institute of physics conference series. International conf. materials for non - linear and electrooptics, № 144, 1995, p.345-352. SU 1837369 A1, 29.12.1990.
(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 29.06.1998
(86) Заявка РСТ: GB 96/02914 (27.11.1996)
(87) Публикация РСТ: WO 97/20353 (05.06.1997)
(98) Адрес для переписки: 129010, Москва, ул. Большая Спасская 25, стр.3, ООО "Городисский и Партнеры", Емельянову Е.И.

(71) Заявитель:
ДЗЕ СЕКРЕТАРИ ОФ СТЕЙТ ФОР ДЕФЕНС (GB)
(72) Изобретатель: Тимоти Эшли (GB),
Грехем Джон ПРАЙС (GB)
(73) Патентообладатель:
ДЗЕ СЕКРЕТАРИ ОФ СТЕЙТ ФОР ДЕФЕНС (GB)
(74) Патентный поверенный:
Кузнецов Юрий Дмитриевич

(54) ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД С НИЗКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ КОНТАКТА

(57) Изобретение относится к устройствам, изготовленным из узкощелевых полупроводников для работы в инфракрасном диапазоне длин волн. Технический результат изобретения заключается в обеспечении низкого сопротивления контакта, прозрачности для излучения, генерируемого устройством, снижения потерь генерируемого излучения. Сущность: устройство содержит активный слой из материала р- или n-типа с энергией запрещенной зоны менее 0,5 эВ, образующий р-n-переход с первым слоем легированного

материала n-типа, второй слой легированного материала n-типа, который может быть расположен рядом с активным слоем или отделен от него другими слоями. Второй слой легированного материала n-типа выполнен прозрачным для излучаемого или поглощаемого излучения, энергия которого больше, чем энергия запрещенной зоны. 1с. и 6 з.п.ф-лы, 14 ил., 2 табл.





RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 166 222** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **H 01 L 33/00, 31/0224**

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 98112013/28, 27.11.1996
(24) Effective date for property rights: 27.11.1996
(30) Priority: 29.11.1995 GB 9524414.1
(43) Application published: 20.04.2000
(46) Date of publication: 27.04.2001
(85) Commencement of national phase: 29.06.1998
(86) PCT application:
GB 96/02914 (27.11.1996)
(87) PCT publication:
WO 97/20353 (05.06.1997)
(98) Mail address:
129010, Moskva, ul. Bol'shaja Spasskaja 25,
str.3, OOO "Gorodisskij i Partnery",
Emel'janovu E.I.

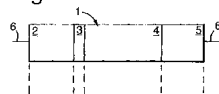
(71) Applicant:
DZE SEKRETEhRI OF STEJT FOR DEFENS
(GB)
(72) Inventor: Timoti EhShLI (GB),
Grekhem Dzhon PRAJS (GB)
(73) Proprietor:
DZE SEKRETEhRI OF STEJT FOR DEFENS
(GB)
(74) Representative:
Kuznetsov Jurij Dmitrievich

(54) **SEMICONDUCTOR DIODE WITH LOW RESISTANCE OF CONTACT**

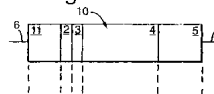
(57) Abstract:

FIELD: semiconductor devices. SUBSTANCE: invention refers to device manufactured from narrow-slit semiconductors operating in infrared range of wave lengths. Proposed semiconductor diode with low resistance of contact includes active layer of p- or n-type material with energy of forbidden zone not less than 0.5 OeV forming p-n junction with first layer of doped material of n-type, second layer of doped material of n-type which can be located close to active

layer or separated from it by other layers. Second layer of doped material of n-type is transparent for emitted or absorbed radiation whose energy is higher than energy of forbidden zone. EFFECT: provision for low resistance of contact, for transparency to radiation generated by device, reduced loss of generated radiation. 7 cl, 14 dwg



ФИГ. 1a



ФИГ. 1b

Изобретение относится к устройствам, изготовленным из узкощелевых (и наиболее известных) полупроводников для работы в инфракрасном диапазоне длин волн. Так как многие такие устройства содержат диодный переход, то с материалом области n-типа и области p-типа необходимо выполнить металлические контакты. В идеальном случае металлический контакт должен быть омическим и иметь низкое сопротивление, значение которого намного меньше, чем у перехода. Как правило, поверхности полупроводников содержат естественную окисную пленку, которая является изолирующей и которую необходимо устранить или разрушить для обеспечения контакта с находящимся под ней полупроводником. Изгиб энергетической зоны, который естественным образом часто возникает на границе металл-полупроводник, означает, что относительно легко получить необходимый контакт с материалом n-типа, но достаточно трудно с полупроводником p-типа выполнить омический контакт с низким сопротивлением.

С некоторыми полупроводниками можно использовать сплав металла и малого количества примеси подобного типа. После отжига получается сильнолегированная область, с которой металл с большой степенью вероятности образует омический контакт, например, Au/Zn для контакта $p^+ - p$ с GaAs. Однако, трудно получить необходимые рабочие характеристики для узкощелевых полупроводников, таких как антимонид индия (InSb) и кадмий-ртуть-теллурид (КРТ), из-за их низкой температуры плавления и высокой скорости диффузии некоторых примесей. Для устранения поверхностей окисной пленки у узкощелевых материалов часто используют операцию ионного дробления. Эта операция приводит в результате к разрушению приповерхностного слоя (составляющего обычно десятки нанометров), который в естественных условиях имеет сильную проводимость n-типа, а также к дополнительному разрушению, которое может распространяться достаточно глубоко в материал и ухудшать свойства перехода. В результате, толщина контактных областей в диодах, изготовленных из узкощелевых полупроводников, должна быть больше или порядка 10^{-6} м.

В устройствах, таких как светоизлучающие диоды и диодные лазеры, у которых оптическое излучение проходит через одну или две контактные области, такая толщина материала может приводить к значительным оптическим потерям, которые ухудшают характеристики устройства, и в некоторых случаях катастрофически.

Вырожденное легирование материала, то есть легирование с достаточно высоким уровнем, при котором энергия Ферми находится в пределах соответствующей зоны, приводит к сдвигу Мосса-Берштейна (Moss-Burstein), в результате чего коэффициент поглощения для излучения, энергия которого немного больше, чем ширина запрещенной зоны, уменьшается, и материал становится прозрачным. Однако, благодаря зонной структуре узкощелевых полупроводников, чрезвычайно трудно возбудить уровни с вырожденным легированием в материале с p-типом

проводимости, поэтому необходимый сдвиг Мосса-Берштейна не наблюдается. С другой стороны, можно сравнительно легко получить вырожденное легирование в материале с n-типом проводимости и достичь больших сдвигов Мосса-Берштейна. Следовательно, области контактов n-типа диодов можно сделать прозрачными для излучения, которое генерируется или поглощается в активной области, а области с контактом p-типа - нельзя.

К настоящему изобретению относится также патент США N 5338944. В этом документе раскрыт светоизлучающий диод, который излучает свет в синей области видимого диапазона спектра, содержащий подложку карбида кремния n-типа, верхний слой карбида кремния p-типа и структуру светоизлучающего p-n-перехода между подложкой n-типа и верхним слоем n-типа. Устройство также включает в себя, между верхним слоем n-типа и подложкой n-типа, средство для осуществления связи верхнего слоя n-типа со структурой светоизлучающего p-n-перехода, которое предотвращает появление структуры n-p-n между верхним слоем n-типа, слоем p-типа в структуре перехода и подложкой n-типа. Это достигается посредством структуры вырожденного перехода, содержащей часть p-типа и часть n-типа карбида кремния. Часть p-типа и часть n-типа являются очень тонкими, порядка 250-1000 Ангстрем, с очень высокой концентрацией примесей, по меньшей мере $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Это изобретение относится к светоизлучающим диодам, работающим в синей области спектра видимого диапазона длин волн. Поэтому оно относится к устройствам, выполненным из материалов, имеющих ширину запрещенной зоны по меньшей мере 2,6 эВ, таких как карбид кремния.

Работа A. P. Carra и др. (A.R. Sugg et al.) в журнале "Applied Physics Letters", 62 (1993) 17 May, N 20, New York, USA относится к лазеру с квантовой потенциальной ямой n-p-($p^+ - n^+$)-n $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As} - \text{GaAs} - \text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ с туннельным контактом $p^+ - n^+$ GaAs-InGaAs на n-GaAs. Следовательно, этот документ относится к лазерным устройствам, выполненным на подложках GaAs.

Согласно настоящему изобретению, полупроводниковое устройство содержит активный слой материала p-типа или n-типа, образующий переход с первым слоем легированного материала n-типа, второй слой легированного материала n-типа, расположенный рядом со слоем легированного материала p-типа, который может быть расположен рядом с или отдельно от других слоев, активный слой материала p-типа или n-типа и средство обеспечения электрического контакта с устройством, включающее в себя средство обеспечения электрического контакта через второй слой легированного материала n-типа, с расположенным рядом со слоем легированного материала p-типа, отличающееся тем, что второй слой легированного материала n-типа имеет концентрацию примесей в пределах от $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до менее $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, причем энергия запрещенной зоны полупроводника активного слоя составляет менее 0,5 эВ.

Следует отметить, что изобретение не

ограничено конкретным набором уровней легирования.

Предпочтительно, чтобы один или первый и второй слои легированного материала n-типа были прозрачными для излучения, энергия которого больше, чем энергия запрещенной зоны, которое излучает или поглощает устройство.

В конкретном варианте осуществления устройство содержит положительный СИД, излучающий с передней поверхности, отрицательный СИД или детектор.

В другом конкретном варианте осуществления устройство содержит положительный СИД, излучающий с обратной поверхности, отрицательный СИД или детектор, в котором средство для обеспечения электрического контакта, через второй слой легированного материала n-типа, с расположенным рядом слоем легированного материала p-типа, содержит металлический контакт, а второй слой легированного материала n-типа обеспечивает прозрачную переднюю область контакта для облегчения использования металлического контакта в качестве зеркала.

В другом конкретном варианте осуществления устройство содержит лазерный диод, а первый и второй слои легированного материала n-типа выполняют оптическое удержание в активном слое.

В другом конкретном варианте осуществления второй слой легированного материала n-типа обеспечивает электрический путь к исключающему или привлекающему контакту. В этом варианте осуществления устройство может содержать полевой транзистор или биполярный транзистор.

В другом варианте осуществления изобретения, устройство может быть отрицательным СИД, излучающим с передней поверхности, в котором концентрация примесей легированного слоя n-типа составляет порядка $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

В другом варианте осуществления изобретения, устройство может быть отрицательным СИД, излучающим с обратной поверхности, в котором концентрация примесей легированного слоя n-типа составляет порядка $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и в котором средство для обеспечения электрического контакта, через второй слой легированного материала n-типа, с расположенным рядом слоем легированного материала p-типа, содержит металлический контакт, а второй слой легированного материала n-типа обеспечивает прозрачную область переднего контакта для того, чтобы облегчить использование металлического контакта в качестве зеркала.

Краткое описание чертежей

Сущность изобретения раскрыта со ссылкой на сопроводительные чертежи, на которых:

фиг. 1a и 1b - общий вид соответственно устройства предшествующего уровня техники и изобретения;

фиг. 2a и 2b - диаграммы энергетических зон (при нулевом смещении) устройств, представленных на фиг. 1a и 1b;

фиг. 3a и 3b - светоизлучающие диоды соответственно предшествующего уровня техники и настоящего изобретения;

фиг. 4a и 4b - устройства, излучающие с

обратной поверхности, соответственно предшествующего уровня техники и настоящего изобретения;

фиг. 5a и 5b - полупроводниковые лазерные устройства соответственно предшествующего уровня техники и настоящего изобретения;

фиг. 6a и 6b - различные этапы построения полупроводниковых лазерных устройств, согласно настоящему изобретению;

фиг. 7 - характеристики устройства, представленного на фиг. 6с.

В настоящем описании использованы следующие обозначения: p и n - тип легирования в материале, верхние индексы - и + - слабое и сильное легирование, соответственно, подчеркивание - материал с высокой энергией запрещенной зоны, v - активный слой с материалом, близким к собственной проводимости n-типа, и π - активный слой с материалом, близким к собственной проводимости p-типа. Термин "высоколегированный", используемый для слоев, расположенных внутри устройств настоящего изобретения, следует употреблять как относительный термин, таким образом, к которым применяют этот термин, являются высоколегированными по отношению к другим слоям, которые не являются таковыми.

В изобретении описаны светоизлучающие диоды и лазеры, изготовленные в системе материала индий-алюминий антимонид ($\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$), тем не менее изобретение не ограничено этой системой. Общая концепция использована для обоих типов устройств и будет описана первой, а ее подробные принципы построения и осуществления незначительно отличаются для каждого случая и будут описаны ниже.

Пример 1. Общая концепция

С помощью настоящего изобретения большую часть высоколегированной области контакта p-типа, расположенную непосредственно рядом с контактом в диоде предшествующего уровня техники, замещают высоколегированным, вырожденным материалом n-типа, оставляя только узкую (толщиной порядка $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$) высоколегированную (но необязательно вырожденную) область p-типа, прилегающую к оставшейся части диода. Толщина оставшейся области p⁺ достаточно мала и не приводит к значительному поглощению оптического излучения.

Электрический переход, образованный между этими областями n⁺ и p⁺, будет иметь обратное смещение по сравнению с активным диодом, так например, если активный диод имеет прямое смещение, то "контактный" диод будет иметь обратное смещение и предположительно будет вносить большое последовательное сопротивление. Это является свойством узкощелевых полупроводников. Однако, когда сильнолегированные области с противоположным типом носителей находятся в непосредственной близости друг к другу, вероятность туннельного прохождения носителей между областями является очень высокой, даже при меньшей разности потенциалов на переходе. Следовательно, через диод n⁺p⁺ может протекать очень большой туннельный ток, и при этом будет

отсутствовать значительное по величине последовательное сопротивление. Поэтому можно выполнить требование к прозрачным контактным областям, расположенным на обеих сторонах активной области, и можно достигнуть эффективной работы устройства.

На фиг. 1 изображена типичная 4-слойная структура 1 предшествующего уровня техники, содержащая слой материала 2 p^+ , слой материала 3 p^+ , такого как $In_{1-x}Al_xSb$, активный слой материала 4 π - типа и слой материала 5 n^+ . Электрические контакты 6 выполнены со слоями 2 и 5. На фиг. 2а качественно представлены относительные энергии валентной зоны 7, зоны 8 проводимости и уровень 9 Ферми устройства, представленного на фиг. 1а.

Принцип построения и работа этой структуры в контексте СИД, детекторов и транзисторов был опубликован ранее в работах Т. Эшли, С.Т. Еллиот, Н.Т. Гордон, Р. С. Холл, А.Д. Джонсон и Г.Д. Прайс, "Неохлаждаемый излучатель в среднем диапазоне ИК на $InSb/In_{1-x}Al_xSb$ " (Т. Ashley, C.T. Elliott, N.T. Gordon, R. S. Hall, A.D. Johnson and G.J. Pryce, "Uncooled $InSb/In_{1-x}Al_xSb$ mid-infrared emitter", Appl. Phys. Lett. 64 2433 (1994)); Т. Эшли, А.Б. Дин, С. Т. Еллиот, Г.Д. Прайс, А.Д. Джонсон и Х. Уиллис, "Неохлаждаемые быстродействующие полевые транзисторы на $InSb$ " (Т. Ashley, A.B. Dean, C.T. Elliott, G.J. Pryce, A.D. Johnson and H. Willis, "Uncooled high-speed $InSb$ field-effect transistor", Appl. Phys. Lett. 66 481 (1995)) и Т. Эшли, "Электронные и оптоэлектронные устройства с узкощелевыми полупроводниками". Труды 7-й межд. Конф. Узкощелевые полупроводники, Санта Фе, Santa Fe, NM, США 9-12 января 1995 (Т. Ashley, "Electronic and optoelectronic devices in narrow-gap semiconductors", Proc. 7th Int. conf. Narrow-Gap Semiconductors, Santa Fe, NM, USA 9-12 Jan 1995).

Устройство 10 по настоящему изобретению (содержащее модифицированную, туннельную 5-слойную структуру контакта) и диаграмма его зон представлены на фиг. 1b и 2b, соответственно. На всех чертежах настоящего описания, соответствующие позиции, выполняющие одинаковую роль, обозначены одинаковыми номерами.

В добавление к первому слою материала 5 n^+ , выполняющему функцию, аналогичную слою 5 по фиг. 1а, устройство 10 имеет второй слой материала 11 n^+ , через который выполнен электрический контакт со слоем 2 p^+ . Толщина слоя 2 p^+ значительно уменьшена по сравнению с толщиной слоя 2 в устройстве 1.

Область полупроводника, где имеет место туннельный эффект, схематически показана как область 12 (фиг. 2b). В случае устройства, показанного на чертеже, активная область является π -типом, но для изобретения это не является существенным, и устройство может иметь различный тип легирования и уровень (например, v -типа) в других устройствах, и может даже иметь множество уровней.

В таблице 1 приведены типичные значения толщины слоев для устройств 1 и 10, но изобретение не ограничено этими значениями.

Вычисление вероятности туннельного прохождения показывает, что для $InSb$ при комнатной температуре (294 K) с числом примесей $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ на каждой стороне n^+/p^+ -перехода, максимальное произведение площади и сопротивления при обратном смещении должно быть менее 10^{-3} Ом.см^2 . Это составляет приблизительно половину значения для сравнимого устройства предшествующего уровня техники.

Туннельный переход достаточно эффективно формирует контакт с большой скоростью рекомбинации в области p^+ , которая потенциально может инжектировать дополнительные электроны выше барьера $In_{1-x}Al_xSb$ (слой 3) в активный диод и ухудшать его характеристики. Моделирование показывает, что для диода при температуре 294 K с барьером состава $x = 0,15$ и примесями $p^+ 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, можно уменьшить толщину слоя p^+ до $0,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ без уменьшения активного диода R_{0A} (произведение сопротивления при нулевом смещении на площадь более чем на 1%). Значение $0,01 \cdot 10^{-6}$ представляет нижнюю цифру точности модели, а не предсказанную минимальную толщину.

Максимальную толщину области 2 p^+ определяют допустимые оптические потери или электрическое последовательное сопротивление, как раскрыто ниже для конкретных устройств. Если допустимой является толщина более 10^{-6} м , то необязательно использовать туннельный контакт n^+ , только чтобы избежать повреждения активного диода, так как одной области p^+ будет вполне достаточно, чтобы поглотить любое контактирующее повреждение. Однако, область 11 n^+ также имеет преимущество в виде значительно более низкого (приблизительно, в 50 раз на единицу толщины) сопротивления, которое может иметь большое значение в случае, если поперечное сопротивление области контакта является достаточно большим.

Пример 2. Светоизлучающие диоды

В эту группу устройств входят положительные люминесцентные диоды, детекторы отрицательных люминесцентных диодов и лазеры, излучающие с вертикальной поверхности резонатора. Во всех этих устройствах, свет проходит вертикально через одну из контактных областей диода.

1. Устройства с передней поверхностью

На фиг. 3а изображен диод 1 предшествующего уровня техники, в котором излучение, поглощаемое или излучаемое в активной области 4, должно быть пропущено через переднюю или верхнюю поверхность, имеющий область 5 с верхним контактом n^+ , достаточно высоколегированную и прозрачную, и область 2 контакта p^+ на дне структуры, расположенную рядом с подложкой (не показана). Это может привести к большому поперечному сопротивлению (R_p) вдоль материала 2 p -типа, которое сравнимо с диодом R_0 . Это приведет к дополнительному рассеянию мощности в СИД и ухудшит характеристики сигнал/шум детектора. На фиг. 3b показано, что использование параллельной области 11 n^+ с сопротивлением R_n и туннельного перехода с сопротивлением

R_t при соблюдении условия $R_n + R_t \ll R_p$ уменьшает последовательное сопротивление и таким образом уменьшает рассеяние мощности в СИД и улучшает отношение сигнал/шум в детекторах.

Устройства с обратной поверхностью

На фиг. 4а показано, что излучение, поглощаемое или излучаемое в активной области 4, стремится проходить через подложку устройства 1 предшествующего уровня техники, а обратная поверхность выполнена с самой верхней областью $2p^+$ так, что свет проходит через прозрачную область $5n^+$ и прозрачную подложку n^+ (не показана). В этом случае верхний металлический контакт 6 можно разместить над всей верхней поверхностью для того, чтобы сформировать зеркало, отражающее свет обратно через активную область 4. Одиночный толстый слой $2p^+$ ослабляет этот отраженный свет, что приводит к потере положительного результата применения зеркала. На фиг. 4б представлен пример использования области $11n^+$ для формирования туннельного перехода к тонкому материалу $2p^+$, обеспечивающего ей прозрачность таким образом, что большая часть светового потока является отраженной.

Пример 3. Лазеры

На фиг. 5а изображен типичный полупроводниковый лазер 13, имеющий активную усилительную область 4, окруженную покрывающими слоями 2, 5, которые обеспечивают электрическое удержание зарядов, оптическое удержание излучения и направленность эмиссии. Структура по предшествующему уровню техники, описанная выше в контексте СИД и детекторов, обеспечивает превосходное электрическое удержание носителей, однако она не обеспечивает достаточно хорошего оптического удержания излучения. Оптическое удержание получают путем изменения (уменьшения) показателя преломления на границах покрывающих областей, которые направляют излучение обратно в активную область. Уменьшение показателя преломления можно достичь в системе материала InSb путем высокого легирования, однако, только высоколегированный слой $5n$ -типа также становится прозрачным для излучения при превышении энергии запрещенной зоны, причем высоколегированный слой $2p$ -типа остается поглощающим. Следовательно, даже если слоем 2 оболочки p^+ и достигается некоторое гидрирование, он сильно ослабляет дальнейшее распространение волны в лазере, приводя к требованию наличия значительно более высокого усиления в материале перед получением вынужденного излучения и не позволяя лазеру работать.

На фиг. 5б лазерное устройство 14 по настоящему изобретению содержит слой $11n^+$, который образует туннельный переход со слоем $2p^+$ и обеспечивает гидрирование с низкими модалными потерями, которое получают на обеих сторонах активной усилительной области 4, позволяя таким образом работать лазеру.

Устройства 13 и 14 обычно изготавливают на подложке $15n^+$.

В таблице 2 приведены типичные значения

толщины слоев устройств 13 и 14, но изобретение не ограничено этими значениями.

Для того чтобы выполнить действительный вариант осуществления лазера, изображенного в общем виде на фиг. 5b, структуры слоев, представленные на чертеже, были выращены на высоколегированной подложке $15 \text{ InSb } n$ -типа, легированной в диапазоне $10^{18} - 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Толщина слоя была такой, как приведено в таблице 2.

Как представлено на фиг. 6а, подложки после операции выращивания имели большей частью круглую форму с диаметром 4,81 или 5,08 см (1,5 или 2 дюйма) и были распилены или расколоты на квадратные кристаллы 16 со стороной приблизительно 6 мм. Толщину кристаллов уменьшили полировкой со стороны подложки от первоначальной толщины $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ до $1,5 - 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

Были использованы известные фотолитографические средства для протравления до нижнего эпитаксиального слоя n^+ (позиция 5 на фиг. 5b) для образования меза-структур 17 с шириной $50 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ или $100 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ и шагом приблизительно 1 мм по ширине кристалла. На фиг. 6b, подобные фотолитографические средства используют для напыления хромовых золотых металлических контактов 6 на верхние части каждой меза-структуры 17 и, в некоторых случаях, на общем нижнем слое n^+ (позиция 5 на чертеже 5b).

Затем каждый кристалл раскалывают в направлении, перпендикулярном длине меза-структуры на части шириной приблизительно $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, чтобы получить полоски 18, причем каждая такая полоска образует отдельный лазер, излучение которого выходит через торцы длинных сторон полосок, как показано стрелками 19 на фиг. 6с.

Каждую полоску закрепляют отдельно в стандартном контрольном корпусе и подсоединяют золотые проволочные выводы к верхнему контакту каждого лазера и к общему контакту для последующей оценки и использования.

Моделирование показывает, что для структуры 14, представленной на фиг. 5b, с размерами, приведенными в таблице 2, коэффициент поглощения в лазере составляет только $-0,0037 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$ по сравнению с $-0,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$ в структуре 13 (представленной на фиг. 5а). Изготовление этой структуры позволило впервые продемонстрировать лазер на InSb с электрической накачкой при температуре 77 К (см. спектр выходного излучения, представленный на фиг. 7). Ранее, для таких устройств требовалось охлаждение до существенно более низких температур и/или использование сильных магнитных полей.

Пример 4. Транзисторы

Использование исключения/извлечения для обеспечения работы при комнатной температуре транзисторов на основе InSb запатентовано (GB 2266183). Несколько типов этих транзисторов, в частности полевых транзисторов, требуют использования области p^+ для образования исключаящего контакта, который пропускает значительный ток в поперечном направлении. Использование туннельного перехода n^+ уменьшает потери напряжения вдоль этой области способом,

подобным описанному для СИД с передней поверхностью.

Для целей настоящего описания в контексте оптических устройств (например, светоприемных или светоизлучающих устройств) фраза "область действия" или "активный слой" обозначают область устройства, в которой возникает существенная регенерация или рекомбинация носителей. В контексте электрических устройств (например, транзисторов) фраза "активная область" или "активный слой" обозначают область, соприкасающуюся с включающим или извлекающим переходом, в котором имеет место исключение или извлечение, то есть область, в которой существует значительное изменение концентрации носителей.

Формула изобретения:

1. Полупроводниковое устройство, содержащее активный слой (4) материала р-типа или n-типа, образующий переход с первым слоем легированного материала (5) n-типа, второй слой легированного материала (II) n-типа, расположенный рядом со слоем легированного материала (2) р-типа, который может быть расположен рядом с активным слоем (4) материала р-типа или n-типа или отделен от него другими слоями, и средство для обеспечения электрического контакта с устройством, включающее в себе средство для обеспечения электрического контакта через второй слой легированного материала (II) n-типа, с расположенным рядом слоем легированного материала (2) р-типа, отличающееся тем, что энергия запрещенной зоны полупроводника активного слоя (4) составляет менее 0,5 эВ, причем второй слой легированного материала (II) n-типа является

прозрачным для излучаемого или поглощаемого устройством излучения, энергия которого больше, чем энергия запрещенной зоны.

5 2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что содержит положительный светоизлучающий диод, излучающий с передней поверхности, отрицательный светоизлучающий диод или детектор.

10 3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что содержит положительный светоизлучающий диод, излучающий с обратной поверхности, отрицательный светоизлучающий диод или детектор, причем средство для обеспечения электрического контакта через второй слой легированного материала (II) n-типа, с расположенным рядом

15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

слоем легированного материала (2) р-типа, содержит металлический контакт (6), а второй слой легированного материала (II) n-типа обеспечивает прозрачную переднюю область контакта для облегчения использования металлического контакта (6) в качестве зеркала.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что содержит лазерный диод (14), а первый и второй слои легированного материала (5, 11) n-типа обеспечивают оптическое удержание в активном слое (4).

5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что второй слой легированного материала (II) n-типа обеспечивает электрический путь к исключяющему или извлекающему контакту (6).

6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что содержит полевой транзистор.

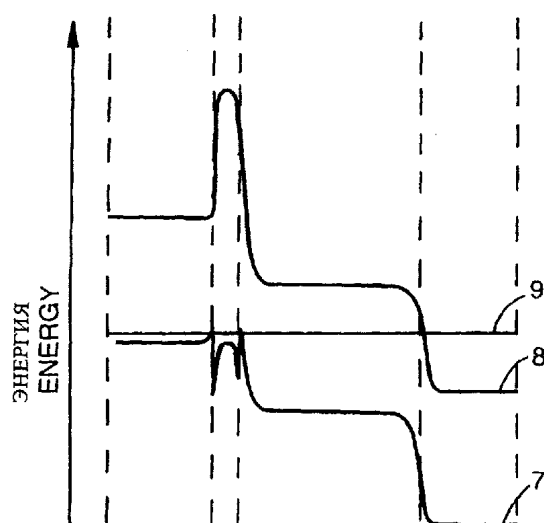
7. Устройство по п.5, отличающееся тем, что содержит биполярный транзистор.

Таблица 1. Толщина слоев для устройств 1 и 10,
представленных на фиг. 1а и 2а, соответственно

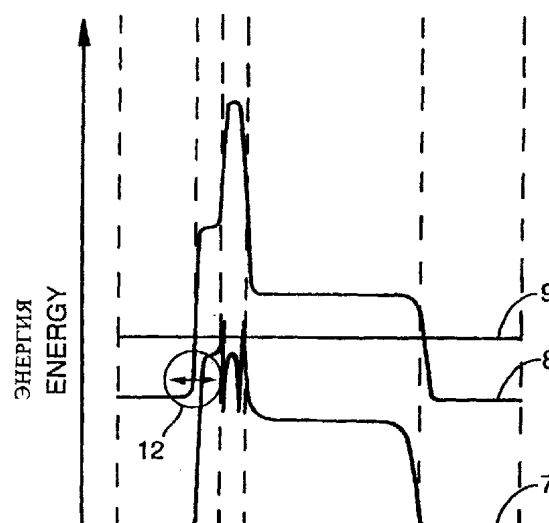
Слой	Толщина (м · 10 ⁻⁶)	
	Устройство 1	Устройство 10
11	-	0,9
2	1	0,1
3	0,02	0,02
4	3	3
5	1	1

Таблица 2. Толщина слоев устройств 13 и 14
(представленных, соответственно, на фиг. 5а и 5b)

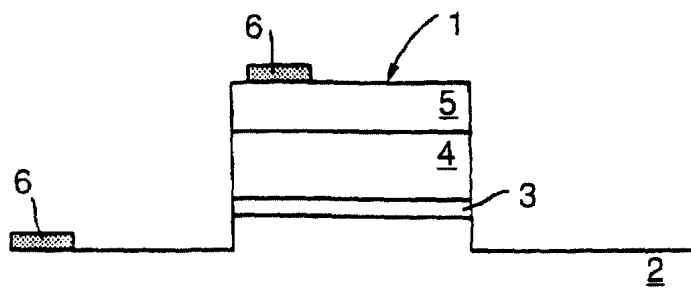
Слой	Толщина (м · 10 ⁻⁶)	
	Устройство 13	Устройство 14
11	-	0,1
2	1	0,1
3	0,02	0,02
4	3	3
5	3	3



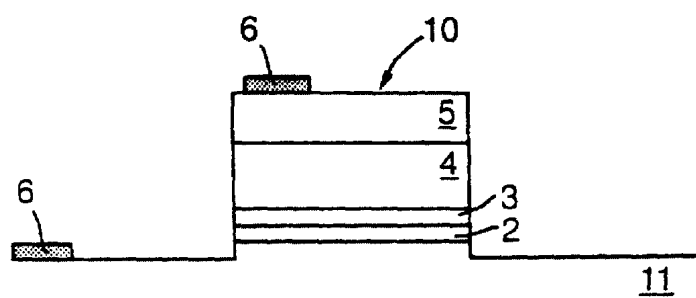
ФИГ. 2а



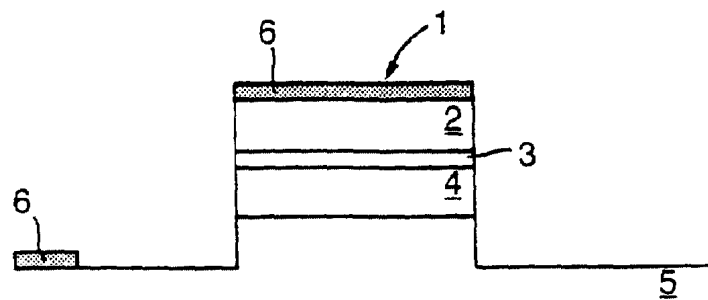
ФИГ. 2b



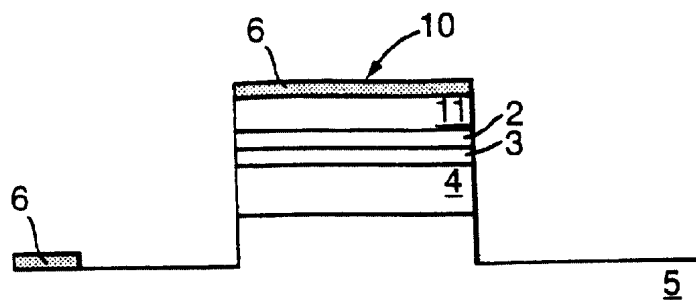
ФИГ. 3а



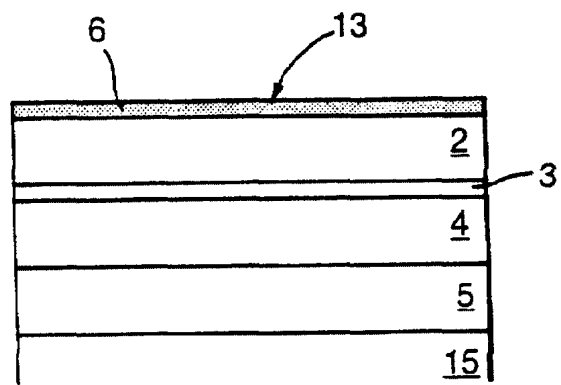
ФИГ. 3б



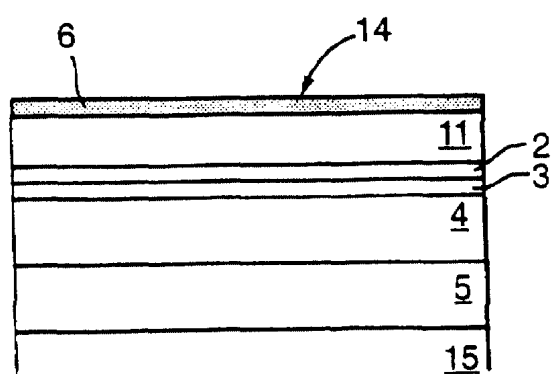
ФИГ. 4a



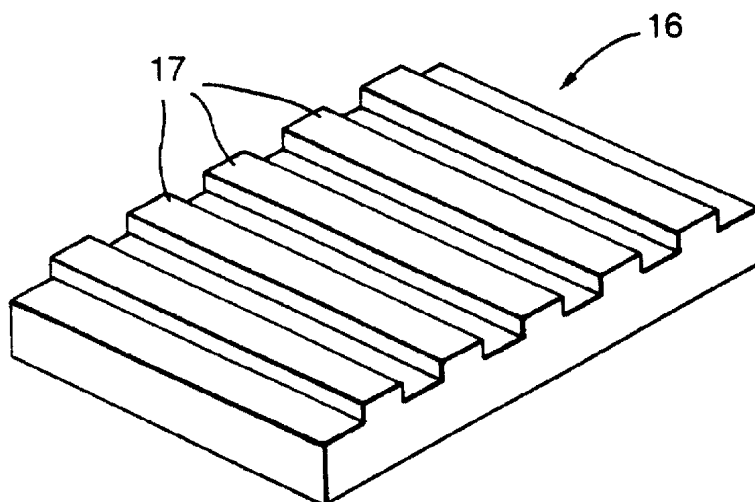
ФИГ. 4b



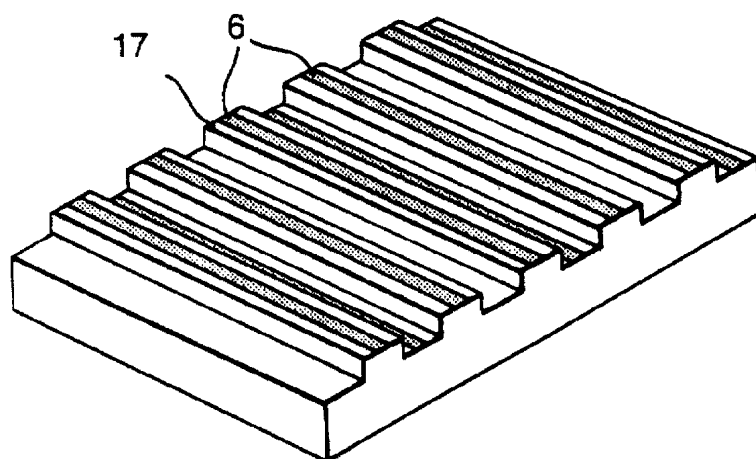
ФИГ. 5a



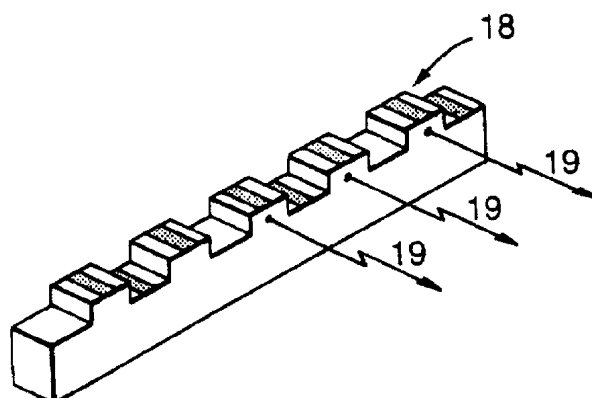
ФИГ. 5b



ФИГ. 6a

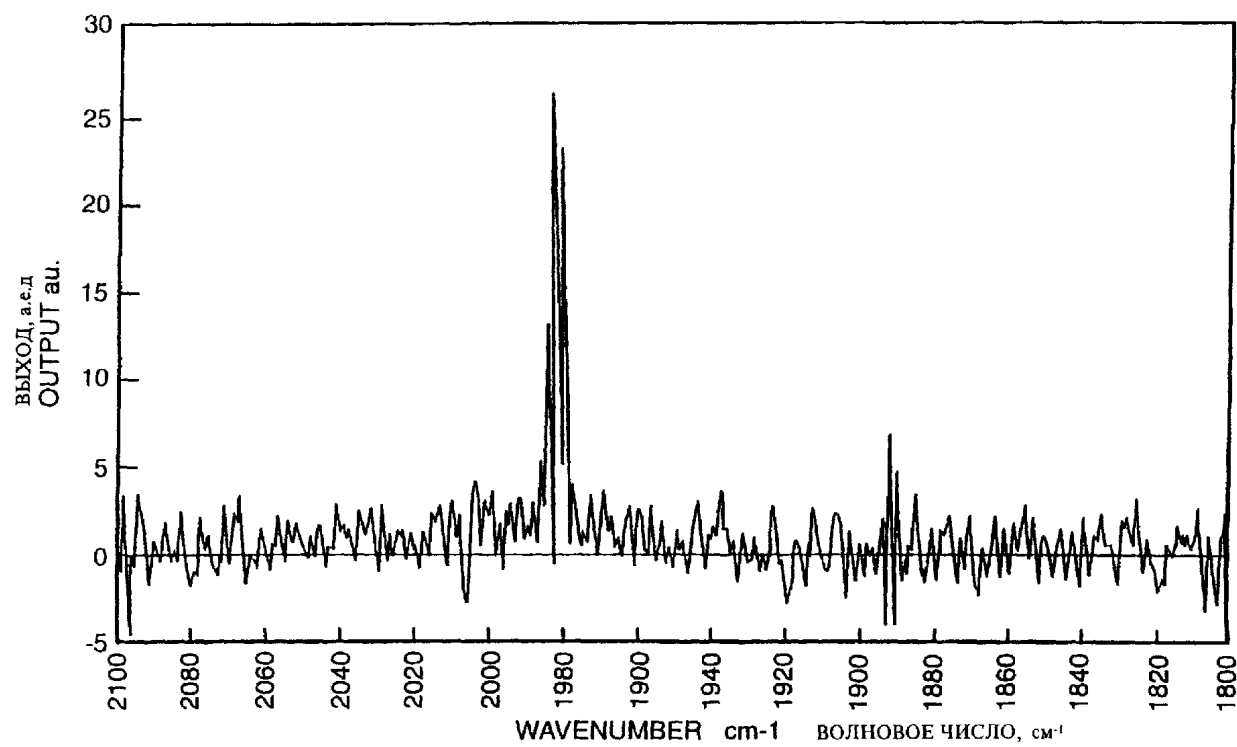


ФИГ. 6b



ФИГ. 6c

20 2229912 RU



ФИГ. 7

RU ~ 166222 C2